

大区画水田における取水による湛水深変化の均一性

Homogeneity of ponding depth change due to irrigation in large-sized paddy field

坂田 賢*・鈴木 翔*・新村麻実*・友正達美*

*農研機構 農村工学研究部門 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6)

SAKATA Satoshi*, SUZUKI Sho*, SHIMMURA Mami*, TOMOSHO Tatsumi*

*Institute for Rural Engineering, NARO (2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609)

Abstract

One of the government goals is using data for Agricultural production. Agricultural machinery using ICT is in the stage of social implementation, but the specifications differ depending on the device. In this study, in order to verify the representativeness of the data used in the field, the spatial distribution of the ponding depth in a large-sized paddy field of 3.3ha was examined. According to leveling, the installation height of the three water level sensors connected to the ICT equipment was different. Though it is thought to increase the ponding depth in the paddy field evenly during rainfall, ponding depth may not necessarily change uniformly due to factors such as drain outlet operation. On the other hand, the difference among the measurement points of the ponding depth change during irrigation is small, and it was confirmed that the water was supplied until the water was distributed throughout the field even when the water supply is automatically stopped when the set water level is reached.

Key words: Ponding depth, Large-sized paddy field, Remote-controlled Water Management System in Paddy Fields, rainfall, irrigation

要 旨

データを活用した農業の実践が、政府の示す目標となっている。ICT を活用した機器が社会実装される段階にあるが、機器によって仕様異なる。本研究では、圃場で利用されるデータの代表性について検討することを目的に、面積が 3.3ha の大区画水田における湛水深変化の空間分布について検討を行った。水準測量により、ICT 機器に接続された 3 つの水位センサーの設置高さが異なっていた。また、圃場内の湛水深が均一に増加すると考えられる降雨時の湛水深変化からは、排水口操作などの要因によって必ずしも均一には変化しない可能性が示された。一方、取水時における湛水深変化の測定点間の相違は小さく、設定水位に達すると自動で給水を停止させる管理を行っている場合でも圃場全体の湛水深が増加するまで給水が行われていることが確認された。

キーワード: 湛水深, 大区画水田, 圃場水管理システム, 降雨, 灌漑

1. はじめに

未来投資戦略 2018 では、2025 年までに農業の担い手のほぼ全てがデータを活用した農業を実践することが目標の一つに掲げられている（首相官邸, 2018）。実現すれば圃場 1 筆ごとの農作業に関するデータが得られることから、情報を統合することでビッグデータとしての利用が期待される。

一方、観測値を分析して現状を把握することや将来を予測するためには、データの多寡にかかわらず、均質な精度が担保されていることが必要であると考えられる。稲作の圃場水管理に関しても情報通信技術（以下、ICT）を活用し作業の省力化に資する製品が複数のメーカーから上市されている（農林水産省, 2019）。例えば、農林水産省（2019）によると、後述する圃場水管理システムをはじめ、水田内の水位や周辺の気象状況を記録する機器、給水栓の開閉を制御し設定された水位に達すると自動停止する機器、水位を観測しながら開水路に設置された堰板を上下させる機器などが挙げられてい

る。これらの機器は、イネの栽培に必要な水管理を圃場から離れた場所で監視または制御することを目的に開発されているが、監視や制御の対象や精度は統一されていない。

水管理の指標となる湛水深に関しては、測定の有無を含めて、観測機器の測定原理や精度について公表されていない場合もある。また、湛水深測定が行われている機器であってもほとんどは圃場内の1点での測定であり、圃場内の湛水深の代表値としての信頼性が懸念される。本研究では、農研機構で開発された圃場水管理システムを用いて水管理が行われている大区画水田において、湛水深の圃場内の分布を計測し、ICTを利用した水管理システムの水位観測値の活用について検討した。

2. 圃場水管理システムの概要 (野口, 2019)

日本再興戦略 2016 において「革新的技術の導入による生産性の抜本的改善」を実現するための具体的手法として「生産基盤の整備に当たっては、ICTの活用による水管理の省力化技術の導入等を推進する」(首相官邸, 2016)と示されたことなどを契機として、ICTを取り入れた水管理に関する機器やシステムの開発が盛んに行われるようになった。農研機構では、主にパイプラインが接続された取水口と排水口に適合する給排水装置と、ICTを活用した操作が可能なシステム(以下、圃場水管理システム)が開発された。

開発に際し、手動で操作する従来型の給水栓は安価に普及しているため、開発された装置の販売価格をできる限り抑えられる構造にする必要がある。また、手動の給水栓は既に多数設置されており、完全に取り替えることは現実的ではない。そのため、同一仕様で給排水を制御でき、既存の給水栓に取り付けられる装置の開発を目指した。

圃場水管理システムは、既述の通り、給水栓と排水口を操作できる制御装置、複数の制御装置と費用をかけず通信できる基地局、圃場の状態の記録と制御命令の発信が可能なサーバーおよび携帯情報端末で操作できるソフトウェアで構成されている (Fig. 1)。圃場水管理システムの詳細または導入効果については、若杉 (2016)、若杉・鈴木 (2017)、若杉ら (2018)、鈴木・若杉 (2018a, 2018b)、新村ら (2020) などに示されているが、以下には圃場水管理システムの主な特徴を示す。

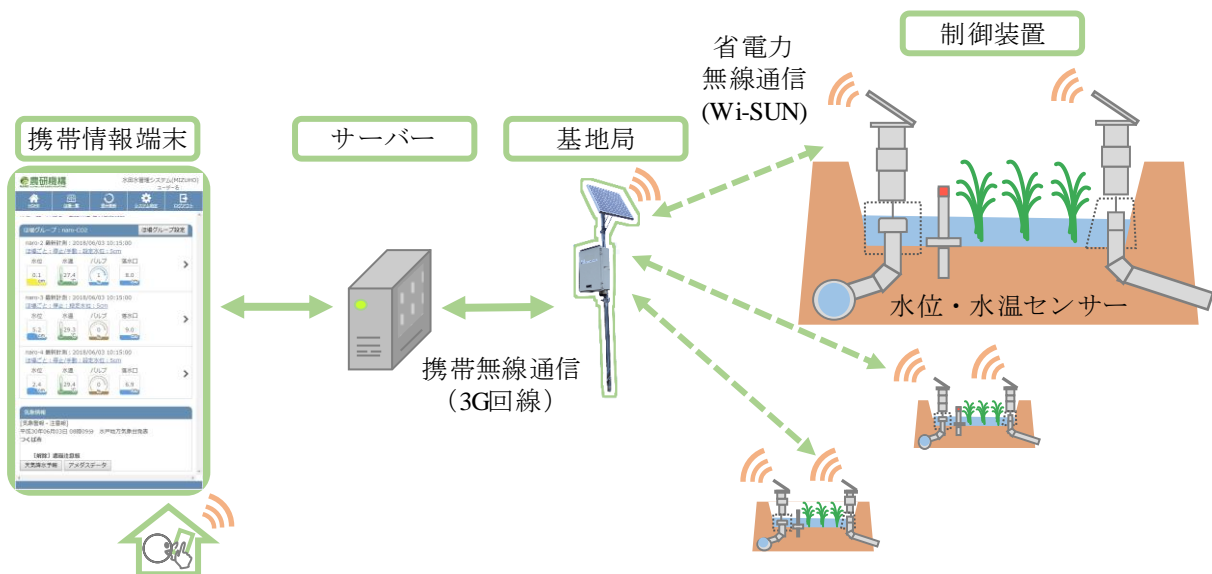


Fig. 1 圃場水管理システムの構成概要

2.1 制御装置

制御装置は、取水側、排水側とも同一仕様であることが特徴である。太陽光パネルから供給された電源によりモーターが駆動し、給水栓の開閉と排水口高さを連動して調整できる (Fig. 2)。また、取水側制御装置には水位・水温センサーを備え、圃場内の状況監視または制御時の取水の開始や停止の判断基準となる。

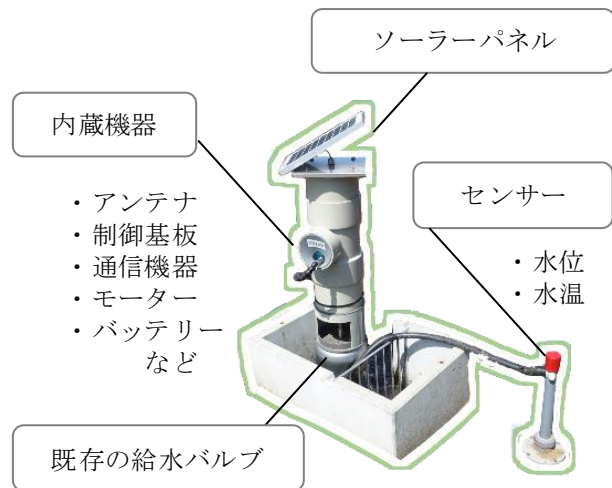


Fig. 2 制御装置の構成

2.2 基地局

基地局は、サーバーと携帯無線通信 (3G 回線) によりデータの送受信を行っている。すなわち、携帯電話の無線基地局からの電波が届く範囲であれば、任意の場所に設置し通信を行うことが可能である。また、制御装置とは省電力無線通信 (Wi-SUN) によりデータの送受信を行っている。1 台の基地局で、半径 500m の範囲にある最大 60 台の制御装置との接続が可能である。

2.3 携帯情報端末 (ユーザーインターフェース)

スマートフォンや PC など、インターネット接続が可能な端末を用いることによって、圃場内の水位、水温 (湛水がない場合には地表面温度)、給水栓の開度、排水口の高さを一覧できる (Fig. 3)。PC やスマートフォンなどを普段使わない耕作者でも直



Fig. 3 ソフトウェアのトップページ

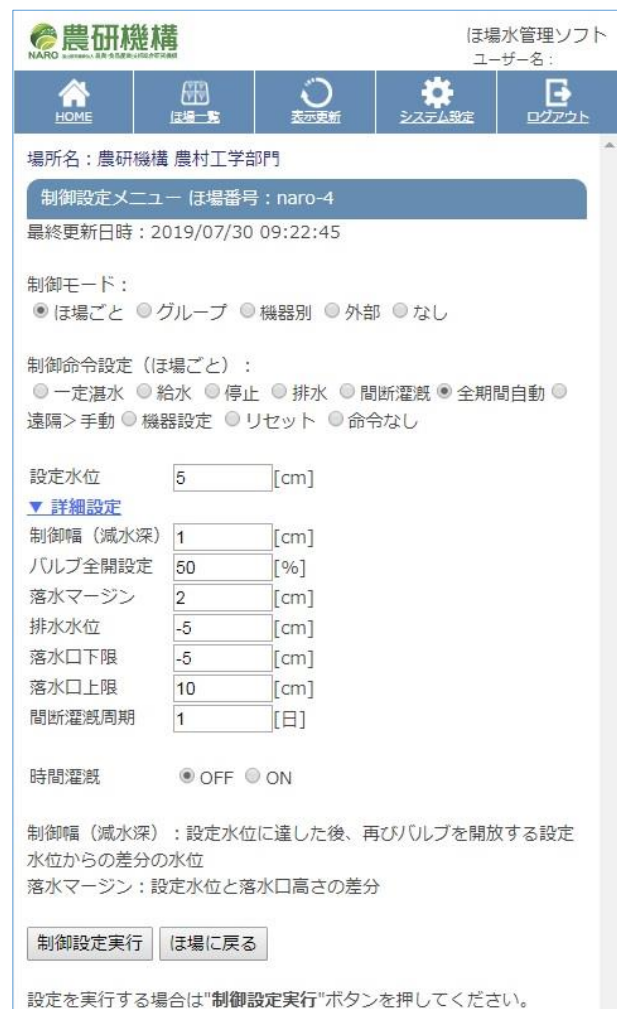


Fig. 4 ソフトウェアの制御命令の設定画面

感的に操作できるよう，イラストでの状況表示や少ない回数で目的が達せられる工夫がなされている。また，取水の開始や終了，強制落水などの指示に加えて，必要な湛水深制御に関する指示を送信できる（Fig. 4）。

3. 調査概要

調査は北海道士別市における面積 3.3ha（長辺 130m，短辺 255m）の圃場（以下，調査圃場）で実施した。圃場の給水栓は片方の短辺に沿って 5 か所，反対側の短辺に沿って 1 か所に設置され，排水口は両側の短辺に沿って複数設置されている。長辺に沿った畦畔は勾配が緩やかで，農作業機械の農道ターンが可能な設計になっている（Fig. 5）。

圃場水管理システムの制御装置は，2018 年 5 月に圃場短辺の端に位置する給水口 3 か所に水位・水温センサーとともに設置した。本調査対象となる 2019 年灌漑期は，圃場水管理システムを使用した水管理の実施では 2 作目となる。調査圃場では排水口には制御装置を設置しておらず，排水の制御は従来通り営農者が手動で行った。

2019 年 6 月 18 日に水準測量および観測機器の設置を行い，同年 8 月 20 日に観測機器を撤去した。水準測量における測点は，長辺方向に 5 線，短辺方向に 7 線となるよう圃場を格子状に分割し，格子の交点に相当する 35 点の田面高を計測した。この 35 点における標尺の読み値の平均を田面の基準高（ゼロ点）とした。加えて，圃場水管理システムの水位・水温センサーが設置されている位置の田面高（Fig. 6 の S1～S3 地点）を計測した。格子の交点のうち，Fig. 6 に示す 9 点と圃場水管理システムの水位・水温センサー近傍計 3 点に圧力式水位計（Onset 製：HOBO U20-001-04，精度 3mm）を設置し 10 分間隔で計測した。また，転倒マス型自記雨量計（Onset 製：HOBO RG3-M，0.2mm/カウント）を圃場近傍に設置し，10 分単位で集計した。なお，8 月 18 日に収穫前の落水が開始され，圃場水管理システムの水位・水温センサーが取り外された。

4. 分析概要

湛水深変化の分析期間を 2019 年 6 月 19 日 0 時から 8 月 18 日 11 時 50 分までとした。分析期間のうち，圃場水管理システムにより取水が記録されている時間帯における湛水深変化の空間分布を評価した。対照として，降雨の場合は均一に湛水深が増加すると考えられるため，降雨イベントごとの湛水深変化を合わせて分析対象とした。なお，降雨前後 24 時間に降雨がない時系列を 1 降雨イベントとし，降雨イベントを除く期間を無降雨期間とした。なお，観測点のうち 2 点（Fig. 6 中の B1 と C3）は観測機器の不具合と考えられる値が記録されたため，分析対象からは除外した。

取水量計測は行っていないが，圃場水管理システムでは給水栓の開度が記録される。開度がゼロよりも大きい場合には取水が行われていると判断した。制御装置が設置されていない給水栓の操作の有



Fig. 5 調査地区の圃場（ターン農道）

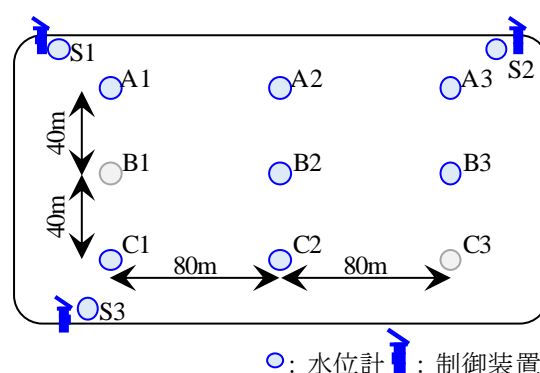


Fig. 6 圃場区画と観測機器の配置

無は確認できていないが、調査期間中は圃場水管理システムを常時遠隔で操作できる設定となっていたため、現場での給水作業は行われていないと仮定した。なお、圃場水管理システムでは1分間隔で操作履歴の記録および制御命令の送信が行われる。一方、排水口の操作に関する計測は行っていない。生育ステージに応じて落水作業が行われると推定されるが、取水時には湛水が確保できるよう排水口が調整されていると仮定して、分析では落水口の高さは考慮していない。

分析期間中に14の降雨イベントが観測された。このうち、1回は取水も記録された。湛水深変化の影響要因が複雑になるため、分析対象からは除外した。また、4回の無降雨期間で取水が記録された。

5. 結果と考察

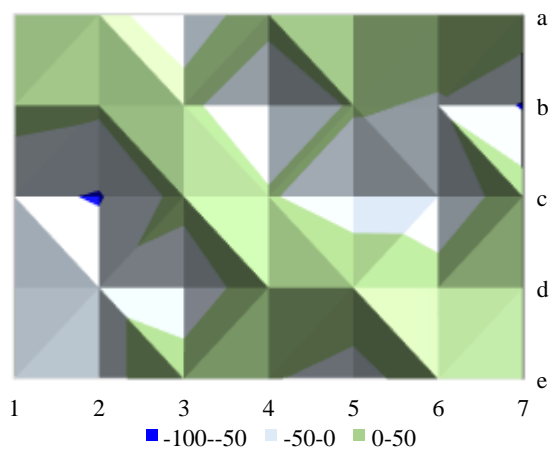
5.1 圃場均平

湛水深測定に先立ち実施した水準測量による田面の空間分布を Fig. 7 に示す。田面高の最大値、最小値はそれぞれ 47mm、-54mm であった。ただし、場所による偏りはみられず、田面高の標準偏差は 29mm となり、基準点より±25mm 以内の測定点数は全体の 59% となった。1ha 区画で実施したレーザー均平作業による均平精度（木村ら、1999）と比較すると調査圃場の高低差は大きいですが、区画規模を考えると妥当な範囲に収まっていると考えられる。

圃場水管理システムの水位・水温センサーは制御装置と有線で接続されているため、設置位置が畦畔に近い部分になる。調査圃場の S1～S3 地点の田面高は順に、-21mm、19mm、62mm となり、圃場内部の測点と同程度の分散傾向がみられた。一方、水位・水温センサーは圃場に挿入して固定することができるが、挿入深が異なるため、水位・水温センサーのゼロ点に相当する部分の田面高は 54mm、77mm、52mm となった。水位・水温センサーが全体的に田面の基準点よりも高くなった原因として、調査圃場は礫が多く耕盤層が浅いため田面とセンサーの基準点との間に隙間ができ、強く挿入することで深くまで差し込まれたりした可能性が考えられる。圃場の大きさや土壌硬度にかかわらず、営農者の水管理作業の一環として1筆に複数のセンサーを同じ高さに設置することは極めて困難である。圃場水管理システムは、基準点からの水位を任意の水位にスライドさせる機能を有しているが、センサーの設置地点の田面高と基準点には相違があることから、営農に使用する際にはこれら両方の相違に留意して管理を行う必要があると考えられる。

5.2 降雨時の湛水深変化

同一圃場における降雨および浸透能の空間的相違がほとんどないと仮定すれば、雨量に比例して湛水深が増加することが想定される。降雨イベントごとに降雨の開始時と終了時の湛水深の差と雨量の関係を Fig. 8 に示した。この結果、いずれの地点も明瞭



注：方向・配置は Fig. 6 と同一である。

Fig. 7 田面高の空間分布

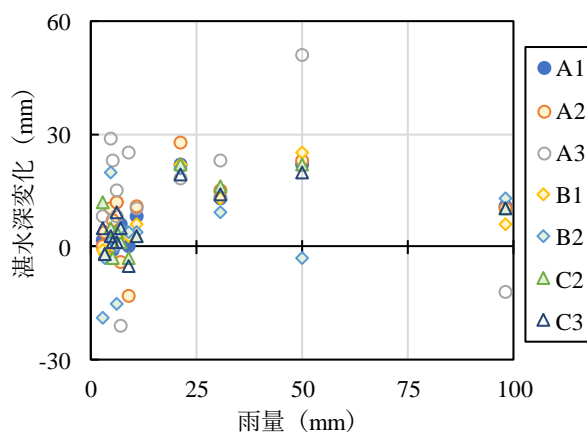


Fig. 8 雨量と降雨前後の湛水深変化の関係

な比例関係は認められず、雨量の増加に対して湛水深の増加割合が小さくなる傾向を示している。この原因は排水口の管理が考えられる。調査圃場を含め当地区では区画が大きいため、全ての排水口は車両が通行できる農道に接しており、降雨時でも排水口に近づいて作業することが容易である。すなわち、雨量の大きい降雨が予測される場合には、予め排水口を調整して湛水深を低く保つ管理が行われていると考えられる。

雨量と湛水深変化の相関係数を用いて評価した場合でも地点による特徴はみられなかった。相関係数が 0.5 以上となった地点は、圃場の角に位置する A1 と C3 であった。反面、同様に角に位置する A3 の相関係数は 0.1 となり全ての地点の中で最小となった。したがって、降雨のように空間的に均一な給水がなされる状況であっても湛水深が一様に増加する傾向は示されなかった。

一方、湛水深の減少過程では均一な変化がみられた。図には示していないが、1 降雨イベントの降雨終了から 24 時間後までの湛水深変化は、ほとんどの地点で 10mm 前後となり同等の値を示した。これは、排水口からの越流や圃場内の湛水の移動などが生じておらず、平均的な減水深に応じて湛水深が均一に減少していると考えられる。

5.3 取水時の湛水深変化

調査圃場では無降雨期間に 5 回の取水が観測され、1 回の取水時間は 6 時間から 17 時間であった。取水ごとに取水開始時刻と終了時刻の湛水深を比較して湛水深変化を求め Fig. 9 に示した。取水ごとに湛水深変化の幅は異なっているが、各回における地点ごとの湛水深変化の違いは取水日による違いよりも小さい。また、給水口付近のみの湛水深のみが増加するという傾向は確認されていない。給水は毎回 3 か所の制御装置が同時に稼働しているが、制御装置から離れた地点 A2 や B2 においても湛水深が増加している。

原口・古木 (1995) は、代かき前など湛水がない状態で取水を行うと、排水口付近に水足が到達するまでは湛水深が不均一となり、長辺長が長いほど取水口近傍は相対的に湛水深が大きくなることを示している。調査圃場のように区画面積が大きい圃場では、湛水深の不均衡が顕著になることも想定されたが、調査結果からはそのような傾向はみられなかった。この要因としては、湛水状態から取水を行った場合には土壌面が乾いた状態に比べて用水の拡散が速い可能性が考えられる。仮に用水の拡散が遅ければ、給水口付近の水位が先行して上昇する。圃場水管理システムのように設定した水位に達すると給水を自動で停止する機能を有していると給水口付近に設置されている水位・水温センサーで観測される水位が高くなった段階で給水が停止し、給水口から遠い地点の湛水深は増加しない。

したがって、調査圃場のような大区画水田において、湛水深を管理するための水位観測点が給水口付近に制限されたとしても、調査期間に相当する分けつ期以降の水管理に支障を来すことなく湛水を維持することができていると考えられる。ただし、給水口付近の湛水深と観測点の湛水深から得られた平均値とは必ずしも一致しない。このため、圃場に設置された ICT 機器から得られた多数のデータを解析する場合の代表値として用いることには注意が必要であるが、個別圃場における水管理指標として用いる場合には十分に実用性を有していると考えられる。

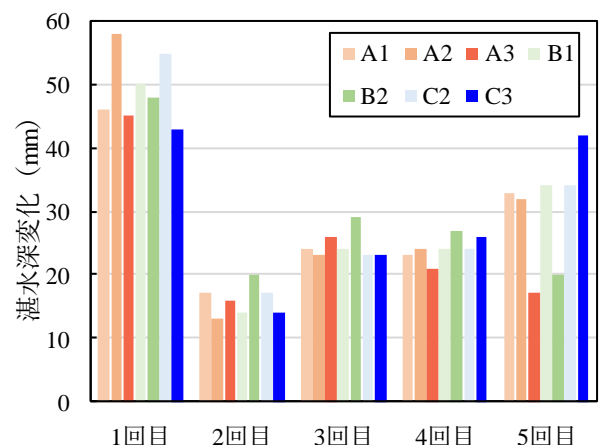


Fig. 9 取水前後の湛水深変化

6. おわりに

ICT を活用した水管理が社会実装される段階にあることを背景として、圃場で利用されるデータの代表性について検討することを目的に、大区画水田における湛水深変化の空間分布について検討を行った。圃場内の湛水深が均一に増加すると考えられる降雨時の湛水深変化からは、排水口操作などの要因によって必ずしも均一には変化しない可能性が示された。一方、取水時における湛水深変化の測定点間の相違は小さく、設定水位に達すると自動で給水を停止させる管理を行っている場合でも圃場全体の湛水深が増加するまで給水が行われていることが確認された。

謝辞：調査の実施に際し、圃場を提供下さった営農者および士別市経済部国営農地再編推進室には多大な助力を賜りました。記して御礼申し上げます。また、本研究は内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「次世代農林水産業創造技術」(管理法人：農研機構生研支援センター、2014～2018 年度)および農研機構生研支援センター「生産性革命に向けた革新的技術開発事業」(2018～2020 年度)の支援を受けて実施した。

引用文献

- 原口暢朗, 古木敏也 (1995)：用排水管理時間から見た大区画水田の合理的な耕区長辺長と水口間隔の検討, 農業工学研究所技報, 190, 47-57.
- 木村勝一, 今園支和, 矢治幸夫 (1999)：東北平坦水田における大区画化と直播栽培による低コスト作業技術の開発 第2報 レーザー光を利用した高精度均平化技術の開発, 農作業研究, 34(2), 113-121.
- 野口 伸 監修 (2019)：スマート農業の現場実装と未来の姿 (ニューカントリー秋季臨時増刊号), 北海道協同組合通信社, pp.155-159
- 農林水産省 (2019)：担い手農家の経営革新に資する稲作技術カタログ, http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/info/attach/pdf/inasaku_catalog-16.pdf (確認日：2019年11月5日)
- 新村麻実, 鈴木 翔, 坂田 賢, 友正達美 (2020)：水管理ソフトウェアの使い勝手に関する利用者の評価, 水土の知 88(1), 15-18.
- 首相官邸 (2016)：日本再興戦略 2016—第4次産業革命に向けて—, http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016_zentaihombun.pdf (確認日：2019年11月5日)
- 首相官邸 (2018)：未来投資戦略 2018, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018_zentai.pdf (確認日：2019年11月5日)
- 鈴木 翔, 若杉晃介 (2018a)：遠隔制御・自動制御が可能な圃場水管理システムが水稻栽培にかかる用水量と水管理労力に与える影響の把握, 農業農村工学会論文集 307, I_235-I_241
- 鈴木 翔, 若杉晃介 (2018b)：圃場水管理システムによる現地圃場の稲作水管理への効果, 水土の知 86(12), 17-20
- 若杉晃介 (2016)：圃場用給排水システム, 特開 2017-192366
- 若杉晃介, 鈴木 翔 (2017)：ICT を用いて省力・最適化を実現する圃場水管理システムの開発, 水土の知 85(1), 11-14
- 若杉晃介, 鈴木 翔, 丸山篤志 (2018)：圃場水管理システムを用いた ICT のフル活用による高機能水田地帯の構築, 水土の知 86(4), 289-292